

総合科学技術会議 科学技術イノベーション政策推進専門調査会

ナノテクノロジー・材料共通基盤技術

検討ワーキンググループ

第8回

平成24年12月19日

内閣府 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）
共通基盤技術（ナノテクノロジー・材料）グループ

午後 1 時 0 0 分 開会

○事務局（守屋） 第 8 回のワーキンググループ会合を開催いたします。

審議に先立ちまして、お手元の資料だけ先に確認させていただきます。座席表、メンバー表、議事次第に続きまして、資料 1 として前回議事録がございます。以降、資料 2 は N I M S さんのほうからご提供いただいたもの。それから、資料 3 として東レ株式会社様からの資料。資料 4 が本日の検討用資料でございます。資料 4 に続きまして参考資料 1、①から⑤までホチキスどめをしてございます。それから、参考資料 2 として J S T 様からの資料。それから後ほど事務局からご説明させていただく参考資料 3 と 4 ということでございます。

それから、委員の皆様の机の上には参考配付といたしまして、前回使用いたしました資料をコピーさせていただいております。こちらはご審議の内容によって適宜レファいただければと思います。

それから前回同様、机上のファイルのほうにこれまでの成果物を取りまとめた資料を幾つかとじたものがございますので、こちらにつきましても適宜ご利用いただければと思います。

お手元の資料で不足しているものがあればお知らせいただけますでしょうか。大丈夫でございますか。

それでは主査、塚本様、よろしくお願いいたします。

○塚本主査 こんにちは。お忙しい中ご参集いただきまして、ありがとうございます。

議事の前に、本日、冒頭今事務局からご紹介がありましたけれども、ナノシートの技術動向のご紹介をいただくということで、N I M S のフェローの佐々木高義様にご来場いただいております。よろしくお願いいたします。

それからもう 1 件、カーボン材料の技術動向の紹介ということで、東レの吉川様に後でご講演いただくということで、よろしくお願いいたします。

では早速、前回の議事録の確認をさせていただきます。

既に各委員の方には、内容を配付されて修正その他いただいていると思います。特段ここで何かご意見ございましたら。といっても多分ないと思います。既にそれなりに反映されておると思いますので、これで今お手元の議事録でご承認いただいたものということで進めさせていただきます。ありがとうございます。

それでは、本日の議事の内容に早速入りたいと思います。

前回、カーボン系の全体の材料を改めて少しフォーカスしながら俯瞰しようということで、一番小さなフラーレンからグラフェン、ナノチューブ、あるいは長繊維、そういうのをざっと

見た中で、グラフェンが最も単原子層でつくった場合に、必ずしもグラフェンではなく、先日は例えばシリセンだとか違う金属系、あるいは化合物系でも単原子層に膜をつくると違うことが起こるというようなご紹介がありまして、改めてナノシートという目で見たときに違う世界が広がるのではないかということの議論がありました。

したがって、今回、改めてNIMSの佐々木フェローにナノシートについて少しご講演、ご紹介いただいて、我々から見て、ではもっとこういうことができるのではないかということを少し頭を回したいと思いますので、よろしくお願いします。

○佐々木フェロー 物質・材料研究機構の佐々木でございます。

WPIプログラムで走っておりますMANAに所属して仕事をしております。よろしくお願いいたします。

私たちは、ちょうどここに示しておりますように、厚さが原子にして数個分という非常に薄いシート状のセラミックス、これを無機のナノシートと名づけて研究を行ってきております。本日は、こういったナノシートの概要と研究の現状、それから将来の見通しなどにつきまして、自分が把握している内容をご説明したいと思います。

本日の主題のナノシートは、1次元のナノチューブやナノワイヤ、3次元のナノ粒子と並ぶ2次元形状を特徴とする新しいナノスケール物質とすることができまして、その中でもいわゆるTrue Nanoの2次元物質、すなわち厚みがナノメートルオーダーであって、横方向にはマイクロメートル以上、バルクの広がりを持った物質の合成は、通常の合成法ではかなり難しいものがあります。それがナノチューブとかナノ粒子の研究に比べてこの研究が立ちおくれたという理由の一つであると自分は考えております。

それでは、これまで報告されている2次元物質が、どのような形でつくられてきたのかということを見てみますと、一部の例外を除きましてこのような層状化合物から何らかの方法で層1枚を取り出して合成されております。

この層状物質といいますと、グラファイト、マイカといったところが非常によく知られておりますわけですが、多種多様な化合物が存在いたしまして、それらでは構成原子が横方向に強い結合をつくってつながりまして層をつくり、それが積み重なったような構造を持っております。こういった層1枚は通常、厚さ1ナノメートル前後でありますので、これを取り出すことによりましてTrue Nanoの2次元物質を手にすることができます。

申し上げるまでもなく、グラフェンはグラファイトを構成するカーボンの六角網目シートに相当するわけでありまして、ガイムとノボセロフは最初スコッチテープを使いましてグラファ

イトの結晶からその剥片をはがし取ることを繰り返し行うことによりまして、単一層を単離いたしまして、それがすばらしい特性を持っている、また全く新しい物理現象を示すということ で一大フィーバーとなっているわけであります。

ただ、その一方で、グラフェンというのはカーボンからのみできているシンプルな物質でありまして、その意味でバラエティーに欠ける、また物性の幅が必ずしも広くないという面があることも事実であります。そのために、よりバラエティーに富む2次元物質を求めまして、ポストグラフェンの研究が広がってきております。

その第一は、金属元素とイオウなどのカルコゲン元素との化合物、さらには窒化物系に焦点を当てたものでございまして、それはグラフェンと構造が似通っているということ、それからバルクの状態でこのように非常に幅広い特性を示すということで、関心が持たれているところであります。

この研究に関しましては、論文として多数発表され始めておりますし、それから米国などを見ますとビヨンド・グラフェンと銘打ちまして、NSFがブレインストーミング的なワークショップをオーガナイズしたり、来年のMRSミーティングではそういったシンポジウムが企画されておりますことから、この分野の研究が活性化してきているということがわかります。

ただ、こういったポストグラフェン物質は前駆体となります層状物質を極性溶媒中で超音波処理するという、ある意味乱暴な機械的な方法でつくられておりますことから、確かにこのような1枚になったものも含まれておるわけなんですけど、中途半端に剥離された厚みの異なる成分がたくさん混ざっているというような状況でございまして、自分が感じるところでは、この物質系を発展させるためには合成法の改善がまず第一であると考えております。

一方、酸化物、水酸化物系のナノシートというものがございまして、これが実は本日の主題であります無機ナノシートと呼んでいるものでございまして、高純度で単一層のナノシートをつくり出すことができます。実はこの研究は、グラフェンの研究が始まります10年近く前から層状物質の研究の中から発展してきたものでありまして、このようにそれなりの展開もなされてきております。その中で日本は、先行的な位置を確保しているといえます。

どういうふうにして酸化物系、水酸化物系のナノシートが得られますかということでございますけれども、層状物質というのはその多くが構造的な異方性を反映いたしまして、室温付近の穏やかな条件のもとでもさまざまなイオンや分子を層と層の間に取り込むという性質を持っております。この反応性を使いまして、この層と層の間に非常にサイズの大きな有機物イオンを挿入いたしまして、ちょうどくさびのように層と層の間隔を広げて膨潤させて、最終的には

1枚1枚ばらばらにするというプロセスでナノシートを得ることができます。

こちらには具体例といたしまして、層状のチタン酸化物の例を示しておりますけれども、この化合物はチタンの原子が6個の酸素原子で囲まれた8面体が横方向に連なって層を形成し、それが積み重なっているという層状構造を持っております。ここではこういった形で表現しておりますけれども、実際には、この縮尺で言いますと層は無限に近く広がっておりますし、積層方向には数千枚から数万枚というレベルで積み重なっております。

サンプルといたしましては、こういった板状の微結晶なんですけれども、これにブチル基が4本ついたテトラブチルアンモニウムイオンが含まれた溶液を作用させますと、このような溶液全体が懸濁したコロイド的な状態に変化いたします。

これは得られたサンプルについてさまざま調べたデータでございまして、もちろん詳しく入るつもりはございませんけれども、層と層の間隔が大きく広がってきて最終的に1枚1枚になっているということ、それから、電子顕微鏡で観察いたしますと、このように厚さが確かに1ナノメートルのシートが得られているということが確認できております。すなわち、もとの層状構造の層1枚がばらばらになって、先ほどお示しした溶液の中に分散しているということが確認できておりまして、このようにチタンと酸素から成りまして、厚み方向には原子数個分、横方向にはこの厚みの10万倍にも及ぶようなシート状の物質が得られているということが確認できております。

繰り返しになりますけれども、このスケールで言いますと、このシートがずっと広がっていることになりまして、非常に高い2次元異方性を持った酸化チタンであるというふうにご理解いただきたいと思います。

こういった研究を発端といたしまして、過去10年ぐらいの間に幾つかのグループによって研究が行われました結果、多数の無機のナノシートの合成が報告されております。ごらんいただけますようにさまざまな組成、構造のバラエティーに富んでおりますし、それを反映していろいろな機能を発現することもわかってきております。

このテーブルは、例えば酸化チタンであるとか酸化マンガンを、それからペロブスカイト系の酸化物といういわゆる機能性のセラミックスを厚さ1ナノメートルの極薄のサンプルとして取り出したということを意味しておりまして、そういった意味でこれらの物質はグラフェンのセラミックス版と考えることができます。

この物質群の特徴、魅力といったところを考えてみますと、まずは究極の2次元性、それから厚みがナノメートルレンジである、True Nanoの2次元物質であること、それからすべてが

表面原子から構成されているユニークな物質と考えることができまして、そのために機能性や反応性が大きく増強されたり、それから量子の閉じ込め効果などが起こりまして特異な物性が発現するということが予想されますし、実際そういった現象が見つかってきております。それから先ほど来強調しておりますように、グラフェンとは対照的に組成、構造、そして機能性の多様性に富んでいるという面でも魅力に富む物質群であるということが言えようかと思います。

こういった特徴をベースにいたしますとさらなる展開、方向性といったものが見えてまいります。その一つが、オーダーメイドのナノシートの合成であります。

どういうことかと申しますと、ナノシートというのは層状物質を単層剥離して合成するというある意味トップダウン的な要素を持ったプロセスでございまして、目的、機能に合わせまして前駆体の層状物質の組成、構造をいろいろチューニングして合成し、それを剥離することによりましてナノシートの機能そのものを設計的に導き出すことができると期待できます。

実際、私どものところでは酸化チタンのナノシートにこのような磁性元素を入れることによりまして強磁性を持たせたり、それからペロブスカイト系のこういったナノシートを0.4ナノメートルという非常に細かい単位で厚みを制御して合成することによりまして、このような機能をいろいろ制御できることを見出しております。

こういった考え方に立って今後いろいろ材料探索を進めることによりまして、ナノシートのバリエティー、機能の幅といったものもさらに一段と広がっていくものと考えられます。

それからもう一つが、ナノシートが単分散のコロイドとして得られますことから、これをビルディングブロックに用いまして集積化してナノ構造をいろいろ設計的に構築いたしまして、それによって高度な機能の発現、制御が期待できるということでもあります。

すなわち無機のナノシートというのは電荷を帯びた2次元の結晶でございまして、溶液中の自己組織化反応などを上手に利用することによりまして、レイヤー・バイ・レイヤーできれいに積み重ねたり、それから多様な物質と接合・複合化するといったことをこういった簡便な操作、装置で行うことができます。

これはそのようにしてつくりましたナノシートの薄膜でありますけれども、基板の上に1層1層積み上げたナノシートがきれいに多層膜になっているということがおわかりいただけるかと思います。

このようなナノ構造の精密な制御は、現在ナノテクの花形技術でありますビームエピタキシーで行われているような人工格子構築技術に近いレベルとも言うことができまして、これをさらに発展させれば、ウェットプロセス・ナノテクノロジーとも呼べるような新しい材料の創製

技術として活用できるようになるのではないかと期待されます。

すなわちナノシートの機能と格子デザイン的な要素を持ったナノ構造の構築技術を組み合わせることによって新しい機能を発現させ、さまざまな応用が広がるということが期待できます。

こちらは、実際そのような考え方で我々が進めております機能開発の例をリストアップしたものであります。時間が限られておりますのでこの中の幾つかについてかいつまんでご説明し、その可能性、問題点などについてご紹介できればと思います。

まず最初が、こういったチタン、ニオブの酸化物ナノシート膜を誘電体として応用しようという試みであります。

グラフェンが非常に電気をよく流すといったことで、ナノエレクトロニクス of 新しい素材として大変注目されているわけでありますけれども、そういった電気を流す素材と同じくらい電気をためることができる誘電体が非常に重要であります。実際、電子機器の中にはトランジスタ、コンデンサ、メモリなどとして大量にそういったものが使われております。ご承知のようにパソコンにしる、携帯電話にしる、どんどん、高性能化、小型、軽量化が進んできておりまして、そういった流れの中でこれまでこれら電子デバイスを支えていた誘電体が性能的に限界に達してきているという状況があります。そこで我々は、こういった酸化物のナノシートの多層膜をつくりましてその機能を調べましたところ、まさに今必要とされております10ナノメートル前後の非常に薄い領域で誘電体として働く材料であることを見出しました。これはナノシートが極薄の2次元の酸化物であるというナノシートならではの性質と、それから室温でこのようなきれいな膜構造、界面を持った薄膜が形成できるためであります。

それでは、このような優れた性質をこういった応用にどのようにつなげていけるのかということですが、例えば携帯電話やパソコンに大量に用いられるこういったミリメートルサイズの非常に小さなMLCCと呼ばれるコンデンサでは、ナノシートの高い誘電性を

また、ナノシートの膜をトランジスタのゲート絶縁膜として用いますと、やはりナノレベルの薄さと非常に高い誘電率というところからすばらしいトランジスタができる可能性があります。非常に重要な応用になるのではないかと考えられます。

これら以外にもナノシートならではの非常に薄い2次元性に基づいた優れた性質、性能がいろいろ見つかってきておりまして、例えばこういった酸化物のナノシートは非常に高い触媒活性を示します。

これは光触媒性の一つの効果であります光誘起親水化特性について調べたものでございますけれども、通常の光触媒であるアナターゼの厚い膜と比べまして、ナノシートの膜の場合1ナ

ノメートルで厚さでもそれを大きく上回る特性を示す、これは表面積が非常に高いことが一つの原因になっていると思われますが、そういったことがわかってきております。

それから、酸化チタンのナノシートの中にこういった磁性元素を導入いたしますと、これが高濃度で置換できることと、多分表面効果も伴いまして巨大とも言えるような磁気光学特性を示すというようなことも突きとめております。

さらにおもしろいのは、2種類のナノシート、すなわちコバルトが入ったナノシートと鉄が入ったナノシートを交互に積み上げて、超格子的なアセンブリをつくりますと、そのシグナルが数十倍に増大するといったこともわかっております。これらの特性というのは、いずれもナノシートが2次元で非常に薄いということに起因していると考えられまして、もちろんまだまだシーズ的な段階ではありますが、本格的に取り組んでいくことによって様々な展開が出てくるのではないかとというふうに期待されます。

以上、簡単でございますけれども、無機ナノシートの概要と研究の現状などについてご説明いたしました。

ナノシートというのは、2次元性と多様性が両立できるセラミックスのグラフェンとも呼ばれる物質でありまして、新しいナノ物質であります。物性的にも魅力に富んでおりますし、これをビルディングブロックとして用いることによりまして新しいナノテクに展開できる、そういった可能性も秘めている材料であると言えます。

何分まだ新しいということもありまして、未開拓の領域も非常に大きくて、例えばこういった観点から総合的な研究を展開することによって大きな展開も期待できるのではないかと考えております。

以上でございます。

○塚本主査 どうもありがとうございます。

それでは、ただいまご紹介いただきました佐々木さんのご講演に対してご質問あるいはご意見がありましたらよろしくお願いします。

○馬場委員 非常に興味深いお話、ありがとうございました。途中で聞き漏らしたかもしれませんが、1層1層ばらばらにする技術はわかったんですけれども、逆に何層か重ねて積層にするときにどうやって制御するのがわからなかったもので、そこら辺を説明していただけますか。

○佐々木フェロー そのところははしょってしまったんですけれども、例えばこの2種類の方法を今のところ使っておりまして、一つはナノシートが電荷を帯びておりますのでその反対電荷を持つ、例えばポリマーのようなものを組み合わせまして、それをのりといったしまして

基板の上に交互につけていくというふうな方法をとりますと、自己組織化が起きまして、1層きれいに乗った時点で反応がとまりますので、これを繰り返すことで、ナノシートをレイヤーバイレイヤーで累積することができます。

もしくは、ここは浅い水槽になっておりまして、ここにナノシートの溶液を入れますと、ナノシートがちょうど流氷のように水面に浮かんでくることがわかっております。ここに2本、バリアと呼ばれる棒がありまして、これをずっと真ん中に寄せてまいりますと、最初はまばらに浮いていたものがどんどん集まってきてきれいにパッキングしてまいります。そこでここにあらかじめ基板を入れておきまして、ゆっくり引き上げることによって1ナノメートルの酸化物のシートがきれいに集合した薄膜の基板の表面に写しとることができます。それを繰り返していくことによって、レイヤーバイレイヤーで多層化することもできます。

もちろんこれらは改善点もございまして、ナノシートの向きを制御するとかいろいろなことが課題はあるんですけれども、非常に簡便な方法でありながらナノレベルの制御ができる、ビームエピタキシーに近い制御ができるということが重要なポイントであると我々は考えております。

○塚本主査 ありがとうございます。ほかにご意見、ご質問ございますか。

よろしいですか。大分時間は迫っておるんですが。

私から1点ちょっと教えてほしいんですが、今ご紹介いただいたのは、チタンだとかいろいろなもの、セラミックスがあったんですが、原則、いかなるセラミックスもこういうことができるというふうに発想してもいいんですか。

○佐々木フェロー いかなるというのはなかなか難しいんですけれども、層状物質というのは非常に多種類ございまして、基本的には層と層の間に何かを取り込む性質を持っておりますので、その反応性を制御すれば多くのものがこういった形で剥離できると考えております。

○塚本主査 それからもう1件。今は、基本的にはボトムアップではなくてトップダウン型で後で剥離するという方法ですが、この同じような物質に対してもボトムアップ型の動きもあるんですか。

○佐々木フェロー ございます。我々は層状物質をつかってそれを剥離するというふうなことをやっておりますけれども、例えば1段でつくってしまおうと。塩のようなものを加水分解するときにこういう鼻薬を入れておきまして、上手に2次元方向に成長するようにすることによりまして、こういったナノシート的なものが得られるという報告もございますし、それからイタリアのグループですが、基板の上いわゆる気相成長で我々がつくっている酸化チタンのナ

ノシートをつくりましたという報告も出ております。

○塚本主査 ありがとうございます。ご質問、ご意見ございますか。

どうやらこれまで余り耳にしてこなかった世界が相当ありそうだとということで、既に我々、議論させていただいてポテンシャルマップをつくりましたけれども、あの中には残念ながらこのナノシートの概念というのは余り入っていません。したがって、少し事務局とも相談しながら、この領域についてもあるかたまりで認識しておく必要があるだろうというふうに思っております。これは次回以降のまた宿題として継続審議させていただきたいと思います。

どうもご講演ありがとうございました。

以上でナノシートの議論を終わらせていただきます。

続きまして、東レ、吉川さんから——吉川さんは前回ご出席いただいていたんですが、前回、一通りのカーボン系の材料の議論の上に、さらに東レさんのいろいろな実績、産業との関連も踏まえていろいろ俯瞰的なご紹介をいただければと思います。よろしくお願いします。

○吉川様 東レの吉川でございます。よろしくお願いいたします。

本日は、カーボン材料への期待と東レでの取り組みということでご報告させていただきます。趣旨に合っているかどうかちょっとわかりませんが。

本日、内容としましては、炭素材料に対する期待と課題ということと、弊社が製品化しております炭素繊維、カーボンナノチューブ、こういったものについて実際に本当に実用化していくのにどれほど大変かというようなことをご報告したいというふうに考えております。

炭素材料というのはここにありますように鉛筆の芯でありますとか、あるいは炭ですとか、サンマを焼くような炭ですね、古くから使われていますが、近年、炭素繊維、人造黒鉛、カーボンナノチューブ等、日本の企業がシェアは非常に大きい新しい炭素材料を使ってスポーツ、航空・宇宙、乗り物、土木・建築、環境・エネルギー、モバイル機器・電子材料といったところに展開していて、非常に産業に大きく貢献している材料であります。

炭素材料は、炭素は地球上に非常に豊富で持続可能な元素であるということと、また主にグラファイト構造とダイヤモンド構造なんですけれども、それで電気特性、熱伝導特性、機械特性が違う。多くの炭素材料は、この構造の混合物であったり、非晶質であったりするということです。ですから、いろいろな機能がいろいろな作り方によって変わってくるということが非常に面白い。また、軽くてさびないということで、すべての炭素材料に言えることでありますけれども、軽いということで省エネ、耐久性があるということで安全・安心といったところに使える。ですから、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、安全・安心に

つながる材料であるということが言えると思います。

これは我々がつくったカーボン材料の分類ですけれども、グラファイト構造とダイヤモンド構造、この中間に属するものとか、あるいは結晶性、非晶性でこのようにカーボンナノチューブ、グラフェン類、ダイヤモンド類、黒鉛類、繊維状カーボン、アモルファスカーボンというのを分類したものであります。このようにいろいろな結晶性だとか構造でいろいろなものがつくれるということで、非常におもしろい材料であるということでもあります。

炭素材料がもたらす価値の創造と社会還元ということで、炭素繊維の優れた機能、強くて軽くてさびないということで、今ボーイング787は機体の50%がCFRPでできているということで、軽量化によって燃費が向上しました。また、耐久性のある材料であって、飛行機自体のメンテナンスコストが低減できる。腐食しないということで、機内の湿度が向上できることによって快適な機内を実現しますとか、また高強度であることから機内の気圧を向上させて耳が痛くならないような空の旅が提供できるという非常に大きな付加価値を生んでおります。

また今後、自動車等にもこういうのが使われることによって、燃費向上と衝突時の安全性の両立といったことがなされていく。

また、風力発電にも、大きなブレードをつくろうと思いますと大きくしなってしまうところに当たってしまうので、CFRPを使うことによってしならないようなものをつくっていくというようなことが試みられております。

炭素繊維はつくるときに、1トンの炭素繊維をつくるに当たり20トンのCO₂を排出するんですが、10年ぐらい自動車や飛行機を使うと、ライフサイクルアセスメントという点では非常に多くのCO₂削減になるということを示した図でございます。

これはリチウムイオンバッテリーの構成図を示しております、ここにも炭素材料が多く使われております。まず、負極のリチウムをためる材料として黒鉛類が使われていますし、いろいろな電極の活物質の導電助剤としてもアセチレンブラックやVGCF等が使われているということです。

これは昭和電工さんの公開資料から使わせていただいているんですけれども、こういうのに活物質がリチウムをためると膨張して、また吐き出すと小さくなる。そのときに導電パスが欠落するのをVGCFという繊維状のナノカーボンによって導電パスを維持して、リチウムイオン電池のサイクル性向上に貢献しているというものでございます。

あと、グラフェンなんかもそうですけれども、非常に高表面積にすることが可能で、電気を多くためてよく流すということからいろいろな、今のリチウムイオン電池だけではなくて燃料

電池、あるいは太陽電池にもカーボン材料は多く使われるようになるということでもあります。

また、炭素材料はグラフェン構造については非常に高導電の特性を持っております。また、最近出てきたグラフェンは薄い、またCNTも細いということが、透明な材料、膜にすることができるといことで、透明導電電極に使うことができます。これは弊社が開発している透明電極が搭載された電子ペーパーでございますけれども、今後タッチパネルやスマートウィンドウ、有機EL、太陽電池へと表面抵抗値を下げていくことによって、こういった大きな用途が見えてくるというふうなものでございます。

そういったことから、炭素材料というのは今後、いろいろな社会問題を解決するような材料として使用できるということと、日本は多くの炭素材料で最先端を走っているということで、21世紀は炭素の時代になるのではないかとというふうに考えられます。

ただ、炭素材料は先ほど申しましたように構造がいろいろな構造が混ざったもので、本当の中身というのは解明されておられませんし、製造法も多種多様で製造法によって性質が変わってくる。通常はほかの材料との親和性が低いということで扱いが難しい。比較的高コストの構造になっているということで、開発にはかなり時間がかかります。

また、今後、こういう炭素材料、日本が大きなシェアを持っているんですが、技術で先行する日本がこの技術をうまくクローズに保ったままもうかる仕組みということも考えていかないといけないのではないかとというふうに考えております。

本日は、東レの研究開発方針を最初に説明させていただいて、炭素繊維、カーボンナノチューブについてご報告したいと思います。

東レは研究開発の方針として「深は新なり」ということで、物を深く探求していくことによって新しいことを見出すことができるという方針で常に研究開発をやっております。技術の極限追求ということをモットーに研究を進めています。これが社会の価値や経済の価値の増大につながったときにイノベーションを起こす。ここでもうかったものは、またこちらの基礎基礎科学の研究開発に還元していくというようなスタイルでございます。

当社は技術センターという組織がございまして、研究から技術開発、エンジニアリング一体となった組織でございます。これはいろいろな分野における技術がまとまっております。こういった有機合成、高分子、バイオテクノロジー、ナノテクノロジーというコア技術をベースに多くのこういう技術をつくってまいりまして、いろいろな事業ネットワークをつくっている。こういったいろいろな技術を融合しやすい組織が、この技術センターという組織でございます。

こういったいろいろな技術を融合させやすいということが、我々、炭素材料を長年研究して

おりますけれども、実用化につなげていった一つの強みではないかなというふうに考えております。

これが我々のコア技術から派生した要素技術でございますけれども、炭素繊維につきましては、炭素繊維をつくる焼成加工の技術以外に高分子の技術等も絡まり合って複合材料へと発展してきております。

カーボンナノチューブに関しましては、こういったモノマーをつくる触媒の技術からカーボンナノチューブをつくり出して、さらに現在ではフィルム加工技術と合わせて新たな透明導電フィルムとしての展開をしているということでございます。

また、我々は自前主義の脱却ということで、産官学連携ということで積極的に取り組んでおりまして、カーボンナノチューブにおきましても初期の段階で名古屋大学の篠原先生と共同研究を行うなどして基礎となる技術をしっかりつくってきた。

また、いろいろなナショプロに参画させていただいて、国の支援もいただきながらいろいろと技術を高めてきたということでございます。現在でも、青字で示したのが、炭素材料に関連する国家プロジェクトへの参画状況でございます。

続きまして、炭素繊維についてご報告させていただきます。

炭素繊維というのは、もともとエジソンが電球のフィラメント用に木綿とか竹を焼いてつくったのが始まりでありまして、世界ではユニオン・カーバイドがレーヨン系の炭素繊維の製造を1958年、1961年に大工試の進藤先生がPAN系の炭素繊維の基本原理を発表された。東レは1971年に本格生産を開始しております。

これが東レでの炭素繊維の研究の歴史でございます、先ほどの1961年から研究を開始して50年たっております。10年で、1972年にやっと釣りざおになり、その後ゴルフクラブに採用され、ボーイング737、二次構造材に採用された。1990年ぐらいになってやっとボーイング777の一次構造材に認定されて、昨年、やっとボーイング787、炭素繊維の飛行機が飛んだという状況であります。非常に長い年月がかかっているということでございます。

これが炭素繊維に参入したいろいろな世界中の企業がどこまでやったのかということですが、日本の企業が初期のころから最後までやり抜いた。いろいろな海外の企業は途中で脱落していったということです。そういったことから、日本の3社でシェア70%という状況になっています。やはりこれは長期間にわたって炭素繊維の可能性を信じて経営がどんどん投資を継続してきたということがこの要因でありますし、もちろん日本政府からのいろいろな継続的な支援をいただいたということも、このシェアを維持できている原因だというふうに考えております。

炭素繊維もこのように飛行機の二次構造材から一次構造材、そしてボーイング787に至るまで、炭素繊維の強度や弾性率をどんどん上げていっているんです。それはもちろん炭素繊維の極限を追求してきたことによります。炭素繊維の製造技術というのは、PANを重合して製糸して、耐炎化、炭化、表面処理、それで炭素繊維をつくりますが、この工程をいろいろなことを制御しながらこの性能を上げてきたということでございます。

強さの極限追求についてですが、これは表面欠陥制御というのと非常に大きく絡んでおります。表面の欠陥がミクロンサイズのころは、まだこの程度の強さであったと。サブミクロンサイズになってくると、6ギガパスカルぐらいまで上がってきて、ナノサイズの欠陥になると、このようになりかなり高い強さの炭素繊維ができるようになってくるということでございます。

剛性につきましても、これは黒鉛結晶の配向度というのが非常にきいてくるわけでございますけれども、配向度を制御することによってこのような高い弾性率を実現することができるということでございます。

これが炭素繊維市場の変遷なんですが、釣りざおからテニスラケット、ゴルフシャフト、産業用の圧力容器等機械とかそういうもの、それから航空機、風力発電、自動車、このように事業を拡大していくためには炭素繊維の品質以外にいろいろな成形加工の技術であるとかいうものをいろいろ身につけていかないとここまでいかなかったということでございます。

例えば自動車に炭素繊維の複合材料を採用しようと思うと非常に短い時間、高速で成形をしなければいけない。こういったことも我々、自動車軽量化の炭素繊維強化複合材料の研究開発ということで、国家プロジェクトの支援をいただいて日産自動車さんとかいうことができるようになって10分サイクルでの成形、スチール対比50%軽量化、1.5倍以上の衝突安全性を実証というようなことを実施させていただきました。これについては、この成果をベースに実用化開発を推進、量産部品をダイムラーのメルセデス・ベンツの乗用車向けから供給開始する予定になっております。

続きまして、カーボンナノチューブでございますけれども、カーボンナノチューブは皆さんご存じだと思いますけれども、グラフェンを筒状にしたものでございまして、その層数によって単層、2層、多層ナノチューブというのがございます。ここに示しましたように非常に高い導電性、熱伝導率、ヤング率を示すということで、非常に有望な炭素材料でございます。

歴史はというと、信州大学の遠藤先生が気相成長炭素繊維の合成の研究をされたのが初めかと思えます。その後、アメリカのハイペリオンという会社が、こういった構造の特許で書いて

おります。1991年に飯島先生が論文を出されて、カーボンナノチューブの発見ということで構造解析などをされて、これがトリガーで皆さん研究を始められた。東レが始めたのは2001年で、大分後発でございます。

東レが始めたころの状況といたしましては、既に多層ナノチューブではハイペリオン社とか昭和電工さんがかなりの量をつくっておられたということです。単層ナノチューブについては、まだラボレベルであったということで、我々は、細いナノチューブをねらおうということで研究を始めました。

その際に2層ナノチューブをつくれば内装のきれいなナノチューブを保ったまま、表面をいろいろ修飾していろいろなものとの親和性というものを保ったいい材料ができるのではないかとということで2層カーボンナノチューブをターゲットにして篠原先生と共同研究を始めたということです。

その方法は、いろいろな方法があるのですが、我々は固体触媒の研究をしておりましたので、固体触媒を使ってそこに高温でガスを流して成長させるという方法で検討をいたしました。いろいろと研究してきた結果、非常に純度の高い、2層の純度も高く非常に直径が細い、またグラファイト化度も非常に高い2層ナノチューブを得ることに成功いたしました。

ただ、これは単に2層ナノチューブの特徴でありまして、実際これがどういう用途に使えるのかということはまた別の問題であります。

導電性について、なかなか1本1本の導電性がはかれませんので、我々、バルクとしてどれぐらいの導電性がそれぞれ出るものなのかということで、独自の方法を編み出していろいろ比較すると、体積抵抗値で 4.4×10^{-4} ぐらいのナノチューブができるということがわかってまいりました。

これを応用開発するわけでございますけれども、どういうものにターゲットを当てるかということで、細いナノチューブが必須の用途、また東レの技術を最大限使えるということ、それとCNTを放出するような設計ではないということでターゲットを決めたところ、我々のPETフィルムの上にCNTをうまくコーティングして導電パスをつくれば透明導電フィルムになるのではないかと。それはタッチパネルなんかに使えようということで、こういう透明電極というものを目指して検討を開始しました。

我々、フィルムは持っていますし、もちろん東レフィルム加工株式会社というのもございまして、フィルム加工の技術もございました。合成から精製、分散、塗工、ここまですべて東レで一貫でできたという利点がございまして。

そうした結果、いろいろな多層ナノチューブ、それから単層ナノチューブも他社のものをいろいろ試してみましたけれども、やはり東レの2層ナノチューブが非常に高い透明性と導電性を有しているということがわかってきたわけでございます。

これは汎用のITOのフィルムと比較すると、このように東レのカーボンナノチューブのフィルムは透明性、導電性とも高いんですけれども、ITOもいろいろなフィルムがございまして、高品質のITOフィルムになると東レのものよりも導電性が高くなってまいります。そういったことから、現時点ではタッチパネル等にはまだ入ることができておりません。

ただ、ITOのフィルムは確かに100から500Ωのところでは物がつくれるのですが、これ以上高い抵抗値のものがつくりにくい。ところが、東レの2層カーボンナノチューブを使った透明導電フィルムは高い抵抗値のものができる。高い抵抗値のところにおいては、ITOのフィルムよりも非常に透明性が高いフィルムができるということで、電子ペーパー用にこれを今展開しているところでございます。しかも、これはフレキシブル性とかがございます。

その結果を示したのがこれでございます、ITOというのはセラミックスの粒子が集まったものでありまして、フィルムをこのようにグッと曲げますと割れてしまいます。したがって、このように屈曲径が小さくなると曲がり過ぎて割れて抵抗率が変わってしまう。ところが、東レの2層ナノチューブのフィルムは、完全に折り曲げても導通がまだ残ったままという特徴がわかってまいりました。

また、引っ張ったときにセラミックスの粒子を塗ったものというのはそこで導通が切れてしまつて、抵抗値が上がってしまうんですけれども、東レのナノチューブを使ったフィルムというのは伸ばしていても抵抗値が余り変わらないという特徴もわかってまいりました。

また、カーボン材料というのは耐湿熱性というか、そういうようなものが非常に高いということで、こういった湿度、温度が高い状況下でも抵抗値の変化は非常に少ないということでございます。

これが去年のナノテク展に出したものでございますけれども、電子ペーパーの電子看板の表面の透明電極に東レのCNTを使ったものです。

現在、こういう性能のCNTをつくって電子ペーパー用に展開しようとしておりますが、今後、さらに導電性を上げていきますとタッチパネルにも使えるようになりますし、またもっと導電性を上げていけば有機ELや太陽電池等にも使えるようになるというふうに考えております。

最後、まとめさせていただきますけれども、炭素材料というのはその機能の極限を追求すれ

ば新たな価値の創造と社会問題の解決に貢献する材料となり得ると考えております。

機能の極限追求により用途は広がりますが、粘り強いより深い研究開発が必要であるというふうに考えます。

また、こういった材料を製品化するためには、既存材料での製品に対して大きな価値を提供する必要があるということです。材料の革新、炭素材料そのものの革新に加えて、製品化するためのいろいろな技術の革新とその評価をしっかりとっていくということがイノベーションを起こすために重要であるというふうに考えています。

以上でございます。どうもありがとうございました。

○塚本主査 どうもありがとうございました。ただいまの吉川室長からのご説明に対してご意見、ご質問がございましたらよろしくお願いします。

○武田委員 これはI T Oの代替という話だったんですが、そこまでにどのくらいの距離があると思ったらよろしいんですか。

○吉川様 距離、時間ですか。

今ここまで来ていまして、非常に難しいんですけれども、I T O、今はこういう既存の材料が使われているところに入っていこうと思いますと、既存の材料に対してすべてが標準化されているということです、周りの回路であるとか何とか。そういうことで、I T Oと同じように使えないとなかなか代替していけない。電子ペーパーの場合は、たまたまこの領域というのがI T Oにできなかったということで、まず入ることができます。ですから、こういうところで信頼性が出てきて、さらに曲げて使えるよという用途が出てくれば、まずはその分野では入っていけるだろうなど。

あと、I T Oの分野に入っていこうと思ったら、もう少し抵抗を下げるということと、あとパターニング、いろいろな抵抗膜式ですと額縁の部分を取り除かないといけないとか、静電容量式の場合だと結構きめ細かなパターニングをしないといけないですけれども、その技術ができれば大体できるだろうなどとは思っています。

時間的には、ちょっとこれはわからないんですけれども。

○武田委員 時間の絶対値がわからなくても、ほうっておくところのぐらいかかって、それをこのぐらいの規模の投資をするとこのぐらい短くなるみたいなことというのはあるんですか。

○吉川様 非常に難しいところなんですけれども。

○塚本主査 ほかに何かご質問、ご意見ございますか。

○齊藤委員 スライドで20ページなんですけれども、強さの極限追求というところで、カーボ

ンファイバーの表面欠陥サイズをミクロンからサブミクロン、そしてナノサイズと変えることによって大幅に強度が上がってきているということなのですが、これは通常の製造技術のグレードアップだけではこういうことはなかなか難しく、そこには何か製造技術のブレークスルーをするような何か新しい技術というのが入ってきてこういうのが達成できたというふうなことなんでしょうか。

具体的なことでなくても結構なんですけれども、そこがナノサイズまで欠陥サイズを抑えられたということは、非常に技術的に大きな革新がないとできないことかなというふうに思ったので。

○吉川様 何が原因かということをいろいろ調べながら努力してきた結果だというふうに考えています。

○塚本主査 よろしいですか。ほかに何かご意見、ご質問ございますか。

○馬場委員 このカーボンファイバーの場合、もう技術としては完成されていると考えてよろしいですか。

○吉川様 まだまだですね。まだ理論的な強度に比べたら、全然低い値なんですね。ですからカーボンナノチューブにしても、炭素繊維についてもまだまだ繊維自体の性能は上げることができますし、さらに周辺の技術というのはまだまだやるべきことがたくさんあるというふうに考えています。

もちろん自動車に使っていこうと思ったら、安くつくらないといけないとかいうことも出てきます。

○馬場委員 理論的には強度としてどのくらいになるんですか。10倍ぐらい高いのでしょうか。

○吉川様 正確な数字は覚えていませんが、10倍ぐらいまだいくはずです。

○馬場委員 あとコストという面ではどうでしょうか。例えば、最初の原料といったところまでさかのぼって考えないといけないのか、あるいは今の原料で何とか安くする技術を開発するのか、いろいろ方法はあるかと思うのですが。

○吉川様 原料も考えないといけないと思います。

○馬場委員 ありがとうございます。

○塚本主査 どうぞ。

○奥村議員 断面写真、破壊面が出ていますけれども、理想的には先ほどのお話だとグラフアイト面を垂直というんですが、長さ方向にそろえるわけですね。そうすると、その破壊面というのは、原子レベルでどういう面が出ているんですか。

ですから、グラファイトの層がこう並んでいることに対して、マクロ的には垂直に切れているわけですね。

○吉川様 先ほどの絵はいかにもグラファイトの層がつながっているように書いてあるんですけども、実際は小さなグラファイトのドメインですね、そういうのがあるだけなので、グラファイトのところで切れているわけではないというふうに思います。

○奥村議員 ということは、ドメインの領域というのは何ですか。ある意味では弱い領域ですよ、全体の中の構造では。

○吉川様 先ほどのあれでいくと、非晶質の部分があると。

○奥村議員 そこをできるだけ減らすほうがいいわけですね。

○吉川様 弾性率を上げるためには、そういうほうがよいと思います。

○塚本主査 よろしいですか。ほかにご質問、ご意見ございますか。

実は今、ポテンシャルマップというのをこのワーキンググループでつくってしまして、要はどういう産業、どういう世の中の課題のソリューションになるかという、かなり長いこと考えているんですが、そういう意味でご質問したいんですが、そもそもカーボン系の繊維を東レさんおつくりになって、結果論的には飛行機という非常に大きな産業にも出てきたんですが、40年かかっていますよね。当初からそういう出口が相当見込まれておいでになっていたのか、最初はやはりスポーツか何かから結果的にそうなったのか、そのあたりの産業的な意味でのロードマップというんですか、出口に向けたある種発想というのはどういうお考えでお進めになったんでしょうか。

○吉川様 もともと黒い飛行機を飛ばすというのが目標だったと思います。ただ、先ほど示しましたようにまだ全然強度が、黒い飛行機を飛ばすほどの強度がなかったわけですね。ですから、研究開発を続けようと思ったらそれなりのアウトプット、そしてインカムがないと続けられないと。そんな中で釣りざおだとかゴルフシャフトというものでしっかりとつないできたというのが現状。

もともとのねらいはやはり黒い飛行機というのは、理論的には炭素繊維は高強度、高弾性ですからできるということを信じてやってきているということです。

○塚本主査 ありがとうございます。そうすると、時系列的にはいろいろ紆余曲折あるにしても、究極はそういうあるターゲットをお持ちになって進められたということですね。

○吉川様 だから続けられたのだと思います。

○塚本主査 もう1点、いわゆる産業の競争力、今後我々のポテンシャルマップも国際ベンチ

マーキングなんかもしていかなければいかんのですが、私の極めて独断の考え方なんですが、東レさんのやられているような炭素繊維、長繊維なんかですと、いわゆる紡糸技術から焼く技術とか、装置的にもかなり大がかりですよ。例えばフラーレンなんかですと、極論すればすすを分離すればある部分フラーレンになって、グラファイトにしる何にしる、比較的我々もCNTやっていますけれども、そんなに何百億円の投資をするわけではなくて、せいぜい数十億円の投資をすれば数百トンつくれるプラントなんですよ。

そういう意味では、後から追いかけてくる連中が比較的、そういうことができるならちよいとやってみるか。数億円か数十億円か、大学に至れば数千万円の真空装置でちょこちょこやって、まがいものはすぐできますから。

そうすると、長繊維は確かに非常に歴史をときながら、一方、非常に投資を伴いながらやる。後からなかなかまねできない。一方で、今おやりになっているのは2層のCNTだとかも含めて、どういう形で国際競争力を維持する可能性があるのかというのは何かお考えございませんか。

○吉川様 確かに難しいところでありますね。炭素繊維は確かに今おっしゃられたようになかなかまねしようと思ってもノウハウのかたまりですからまねできませんが、カーボンナノチューブなんかはそれぞれつくり方によっていいナノチューブ、悪いナノチューブあると思うんですけれども、いいナノチューブのつくり方というのは技術をクローズにしておけば、しばらくは追従できないだろうと思うんですけれども、ただそれよりもいい技術をつくられたらそれはしょうがないですね。

ナノチューブも製品になるまでというのは分散もできないといけませんし、フィルムの場合だったら周りの塗工技術もやらないといけませんし、その周辺の技術もいろいろと身につけないといけないということで、製品化のところとにかくなるだけノウハウを蓄積するしかないのかなというふうには思っています。

○塚本主査 ありがとうございます。ほかにご質問、ご意見。

○事務局（守屋） 申しわけありません、事務局の立場でありながら質問させていただきます。

今映っているスライドの次のスライドに強さの進歩といいますか、変化の図がありまして、ちょっと前のスライドとあわせて見ると、大体1990年前後にボーイング777の一次構造材に認定されていまして、それとあわせて見ると強さが格段に90年ちょっと前に進歩しているのでそのあたりが採用のキーファクターになったのかなと想像しています。その理解が正しいのかどうかということ。

それと、1980年ぐらいまでは何となく強度の進捗がやや鈍い進捗を示していて、その後、一気に倍ぐらいに上がっています。1980年ぐらいの時点で、例えば10年後の強度を倍にするための技術的な課題というのが見えていて研究をされていたのかどうかという、そのあたりをちょっと教えていただければと思います。

○吉川様 実は私も勉強不足で、1980年代は私が入社した年ぐらいなんですね。ただ、私が入社したころに複合材料としてのいろいろなブレイクスルーがあって、最終的には炭素繊維の編み物の周りに樹脂で固めたり、層間を制御したりということで、その複合材料でのブレイクスルーがあったというふうに聞いております。

炭素繊維の強度は確かにこの辺で上がっているのですけれども、それも同時に恐らく起こったことなんだろうなというふうに思います。

○塚本主査 よろしいですか。ほかにご質問、ご意見ございますか。よろしいでしょうか。

既に一部そういう議論が入っているんですが、とりあえずこの講演はここで終わらせていただきたいと思います。吉川室長、どうもありがとうございました。

これも受けて、今一部守屋さんから質問があったことに関連するんですが、前回、特にカーボン系の材料で、これは一つのモデルケースで議論しようということで、その中でそれぞれの素材のK P I、どういう要素がブレイクスルーすれば一気に市場が広がるか、あるいは用途が広がるかというような議論をさせていただきたいと思っています。

まさしく今、吉川室長からご説明いただいた長いロードマップの中でもあるところから一気に強度が上がって、恐らくそれは長年の培った中からあるところでブレイクスルーするんだと思うんですが、できるだけ我々の今の議論としてはポテンシャルマップのそれぞれのかたまりをどういったK P Iを設定していつまでに、これは早いにこしたことはないんですが、国際的な競争の中でどういうタイミングでどうしていくべきかというあたりを少し整理する必要があるんだろうと思います。それを通じて何らかのブレイクスルーを促していくと。これは国の施策になっていくんだろうと思うんです。

それに関連して、事務局からご用意いただいた資料、ご説明いただきたいと思います。

○事務局（山崎） それでは、私から議論に先立ちまして、委員の皆様をお願いして集めた情報を事務局のほうでまとめた資料についてご説明したいと思います。

今、スクリーンに映っていますのは、前回のワーキンググループでお示しした表です。ここにあります炭素繊維複合材料、C N T、フラーレン、グラフェンに関しまして、前回のワーキンググループで話題になりましたK P I、Key Performance Indicatorに関して委員の皆様か

ら情報をいただきましたので、それについて委員の皆様にご説明いただくという形でお願いしたいと思います。

関連する資料といたしましては、資料4、参考資料として参考資料1－①から⑤までホチキスでとめたものと、あとJSTさんのほうからご提供いただきました参考資料2です。これらに沿ってご説明をしていきたいと思います。

あと、それから机上には前回資料の一部も議論の流れによってはご参照いただくということで配付させていただいております。

まず、資料4の表の構成ですけれども、これは左側からカーボン系の材料名と、それをどういった用途に適用した場合にどういう指標がキーとなるか、その指標の目標を達成するためにどういった課題が現時点であるか。一番右側には、参考資料がある場合には参考資料の番号を挙げさせていただいております。

それでは、まず一番初めにCFRPのKPIについて、経産省さんのほうから情報提供をいただいておりますので、ご説明をお願いします。

別にとじてある参考資料1－①の一番上の部分です。お願いします。

○経済産業省（北岡） 経済産業省ですけれども、今吉川室長からお話がありましたので、大体CFRPの開発というのはある程度ご理解いただいたと思いますが、繊維課なり東レさん、自動車メーカーにおいて、次は先ほどお話された自動車への適用について現在検討されております。その中で、周りが一応次の市場導入として重要としているというのが、いろいろな自動車メーカーから上がってきているということで、この辺の値については東レさんとか炭素繊維メーカーがすべて社内で納得されているかということはまだわかりませんが、逆にメーカーサイドからするとこういうものが必要ですよというのは1つ上がってきています。

1つは、KPIのところの目標値としては、指標としてまず加工効率というのが非常に重要であるという認識をメーカーさんがお持ちで、実際には一つの部品をつくるためのタクトタイムが現在、8時間であるところが例えば1分ぐらいの、逆に言うと8×数百分の1ぐらいの時間でスループットでつくられるというふうになってくると、いろいろな自動車部品への展開は可能であろうということで、次の国プロでもこういったCFRPと樹脂をどういうふうに成形体に持っていくか現在検討されているところでございます。

過去に、先ほど言われたゴルフシャフトからいろいろな航空機部材への転換というところで、一つは価格と需要量という観点で調べたデータがありましたので、お持ちさせていただきました。

それが資料1-①でございまして、1977年からずっと需要量がふえてきている。その背景には、トン当たりの価格がこのように推移してきている。このようにいわゆる技術開発によって生産性が上がって価格が下がってくる、需要量もふえてくるという関係にあるということで、ある程度構造材に入っていくためには当然、鉄とかアルミとかの従来の品物に対してのコストメリットというのが出てこないといけないというところで、非常に材料というのはこういう観点で考えることが必要ではないかというふうに考えております。

○事務局（山崎） ありがとうございます。非常に駆け足になりますけれども、続きまして、CNTに関してご説明いただきたいと思います。

まず、多層CNTに関しましては、昭和電工さんのほうから情報をご提供いただきました。塚本さん、よろしくお願いいたします。

○塚本主査 お手元の資料のとおりですが、私どものつくっているCNTは大きく2種類ありまして、1つはリチウムイオン電池用の導電助材で、先ほど東レさんの吉川室長からご紹介いただいたような中身です。これは比較的太いカーボンナノチューブを使っています。

値段は、当然太いのでつくるのに時間がかかるということで、現状はざっとキロ2万円、お客さんからは5,000円。ソニーさんなんかは現実、今右の値段で買っているんですが、韓国のサムスン、LGなんかに行くとのっけから1,000円台と。それはないでしょうというような議論で、彼らの感覚はいいか悪いかはもうわかっていると、いいのはわかっていると。あとはもう値段だけだというようなことを現在も言われています。

ただ、課題としてはさらに高純度だとか、あるいは高分散性を要求されています。高純度というのは、基本的には触媒を使って成長させますから、触媒が残って、私どもは非常におもしろい使い方をやっていますので触媒はほとんど残らないんですが、メーカーさんによっては鉄だとか不純物が相当入ってしまう。そうすると、カーボンの不純物以外の触媒の不純物が原因でショートしたり、あるいはリチウムとの化合物をつくってディスチャージできないというようなことが出てきます。

それからもう1点の電子デバイス容器、これは基本的には静電気を防止するためのいろいろな電子デバイスの容器だとか、工場内でのトレイだとか、帯電防止のものです。したがって、先ほど東レさんからご紹介あったようなITO代替みたいなものを考えているわけではありません。静電気さえ防止できればいい、安いということで、現在はケッチェンブラックが主として使われています。それに対してカーボンナノチューブ。ケッチェンブラックは脱離しますから、工程内のクラス10とか100の工場内では発塵源になりますので、これに対応するコンポジット

としてつくろう。ただ、これは大分安いづくり方なんです、現在8,000円。お客さんからはできれば1,000円、最低でも3,000円ぐらいにしろと。結局そうならないんで、私どもはほぼ撤退状態にあるという状態です。

当社のCNTというのはそういう状況です。

○事務局（山崎） ありがとうございます。続きまして、単層のCNTとグラフェンのKPIにつきまして、産総研さんのほうから資料をご提供いただいております。お願いいたします。

○産総研（佐々木） 産業技術総合研究所の佐々木と申します。

産総研では今、国プロでも単層CNTのプロジェクトをやっていますが、その他にも日本ゼオンと量産化技術を開発しようということで、特にコストの観点で量産も必須だということで研究を進めています。その資料として、参考資料1－④がございますけれども、そこに詳細を記載しています。

まず、単層CNT、そこに書いているように2015年に日本ゼオンのほうで、これはすでに新聞報道発表されていますが、10トン/年程度のプラントを2015年に向けて目標として設置したいというふうなことで研究が進んでいます。

その下の図を見ていただきますと、炭素CNT、いろいろなCNTの配線、炭素繊維、燃料電池、不揮発性メモリー等青色の四角で書いてあるところがありますが、そういった応用があり、それぞれに関して当然必要な技術ブレークスルーというのが、そこにある緑色の四角の中に赤字等で細かく記載してございます。一方、炭素材料をいろいろな、どこでも使われるような基幹素材へ持っていこうとするときには、当然金額を安くしないといけないという問題があります。

そういうことで、大体2015年に10トンぐらいのプラントが設置され、その後、例えば2025年ぐらいまでにはキログラム当たり1万円とか、さらに基幹素材として普及するためにはキログラム数千円にならないといけない。ただ、価格が下がるだけではなく、広範に使われるためにはそれなりに高品位のものができていかないといけないということで、品質も重要になってきます。

そこで、次の資料の単層CNTのKPIということで、これが価格と機能の中でも電気的特性を縦軸にして見えています。ちょっと金額の単位を入れていないのですが、キログラム当たりということで、横軸が1,000円、1万円というふうな形でログスケールで書いてございます。現状、研究用の単層CNTというのは、グラム当たり数万円で売られていますのでキログラムにすると1,000万円以上のような金額になってきます。その価格を更に下げて、性能を上げる

ために高品質化を進めるということで先ほどのK P Iの資料のほうに書き込んであります。

一方、グラフェンについてですが、グラフェンもいろいろな用途があります。理想的には単層のものがグラフェンといますが、数層が重なると多層グラフェンというふうな言い方を最近はします。グラフェンの合成法は溶液法でやったり、CVDでやったり、高分子の熱処理でやったりと色々な合成法がありますが、当然それぞれの合成技術にブレークスルーが必要であります。

特にグラフェンの電気的特性について注目して、透明電極としての応用を考えたときも、現状では試験研究用では平米当たり1,000万円ぐらいかかるぐらいの価格になっています。それを実際にITO代替という観点でみると、現状のITO透明フィルムの価格レベルまでに持っていけないといけない。そこに大量生産によって価格を下げる、かつ抵抗値を下げていけないといけないということで、それぞれの応用に対応する抵抗値まで持っていくということで図になっています。

具体的にその抵抗値が先ほどの、戻りましてK P Iの表のほうで、グラフェンとしては電気的特性としては中間目標としては $100\ \Omega/\text{sq}$ 、長期目標としては $30\ \Omega/\text{sq}$ とITO並み、あるいはそれを凌駕するようなところに持っていくために高品質化が必要であるということで整理をさせていただきます。

以上でございます。

○事務局（山崎） どうもありがとうございました。あと、グラフェンに関しましては、参考として経産省さんのほうからサファイア基板とシリコンウエハについて情報をご提供いただいております。お願いします。

○経済産業省（北岡） 前回お話いただきました基板、きょうお話しいただきましたナノシートの件で、基板という2次元のものをどう考えていくかということなんですけれども、簡単に考えますと、インチが倍になると面積が4倍になるわけでございまして、その価格推移というのは大体その状態に入らないと大口径化をしても世の中に入っていないというところです。例えばサファイアというものが現在、世の中では3インチ、4インチというものが市場に導入されています。

それが2010年からどのような価格推移と枚数になったかというところでございますが、例えばサファイアですと、1枚当たりの価格が2インチですと2010年から徐々に下がっております。それに伴って、例えば2010年ですと2インチで2,000円ぐらいのものが4インチですと1万円ということで約4倍強ということで、この4倍によって結局歩どまりが高くなったり、プロセ

コストが下がれば結果的に4インチ化していくというような流れでございまして、こういった基板の市場というのはある程度、一番最初に始まった口径に準じて価格が変動していくというのが見えてとれます。

シリコンに関しましては、こちらに書いていますように2000年からインチ当たりの価格があまり変動していません。実際今12インチ、300ミリのウエハがずっとこの10年使われてきたわけでございますけれども、ある面価格が変わっていないということで、よく言われるように日本のメーカーがシリコンウエハを高いシェアを持っているという一方で、逆に言うともうこの価格変動がないという中で非常にインテルなどのいわゆる半導体メーカーから価格がある程度制御されているというところもあって、今回、例えば450ミリ管に関しても、そういった中で日本がそれに対してどういうタイミングで入っていくとか、その辺がこういった半導体の基板メーカーにとっては非常に重要になってくるというところで、同じようにグラフェンの半導体デバイスというのを考えても、既存のこういった基板の価格とインチサイズに応じてそれなりの価格にならないと市場に入らないのではないかとということで参考に資料を提供させていただきました。

○事務局（山崎） どうもありがとうございます。それからグラフェンに関しましては、特に研究フェーズが若い部分に関して、K P Iの中でも技術的な課題をしっかりと見ておくべきだという意見が事務局調整ミーティング等でも出まして、それに合わせてJ S Tさんのほうに参考資料2をご準備いただきましたので、ポイントをご説明いただきたいと思います。

○馬場委員 それでは、私からご説明したいと思います。

参考資料2は、前回に河村から二次元機能性原子薄膜のエレクトロニクス応用という視点でグラフェンについての話題提供がありましたが、その中でK P Iとしてどういうことが必要かをまとめたものです。

ページをめくっていただきますと、最初にエレクトロニクス応用ということで、共通基板技術的なものとトランジスタ、透明導電膜、その他でまとめてあります。年代が書いてありますが、これはおおよその目安であり、こういった技術課題があるということを全体的に示してあります。

次のページからはこれを表としてまとめたものであります。最初の表は共通基板技術ということで、縦には製膜技術だとか、バンドギャップ制御、あるいはプロセス技術とかを並べています。

それから横軸には、先ほどの製品化のK P Iとはちょっと違い、ここでは本格的な研究の進

展がある、皆さんが興味を示す、あるいは企業の方がこれだったらやってもいいと興味を示すレベルということでK P I を書いています。

横軸は最初に技術課題が書いてありまして、例えば成長の場合ですと、高品質のグラフェン膜の形成技術ということであります。次は目標で、例えば大面積の単結晶のグラフェン膜を究極的にはつくりたいということです。

それに対してK P I として、ここでは結晶性ということが大きな指標になると思いますが、そこに対して目安として、既存のウエハ上でドメインフリー、ドメインが少ないようなものが成長できるということが目標になると思われます。

現状はまだ小面積のところに作っているということですが、一番右にはそれに対してどういうことを考えなければいけないかということで、例えば適正な基板の選択であるとか、触媒の選択、そういったC V D成長に必要なことが記載されています。また、一番下のロールtoロール、大量生産も考えていかなければいけないということでまとめてあります。

全部について説明する時間はありませんが、このような形で各技術について整理しています。

次のページとその次のページは応用ということでまとめてありまして、最初は透明導電膜とか電極の話です。ここでは先ほど言いましたように研究がどんどん進展していく、皆さんが興味を持つというレベルのところでK P I というのを定義して書いてあります。透明導電膜の場合は、透明度と電気抵抗の比較です。両方が今のI T Oに迫るもの、あるいはそれを超えるもの、こういったところが必要になるということで書いてあります。

次のページがトランジスタ応用です。ここは10年、20年先の話になってくるかと思いますが、今のシリコン、あるいはガリウム砒素とかいったものを超えるような特性をここで出していきたいということで、一つは高周波応用でテラヘルツに至るような応用、もう一つは高集積回路、低消費電力の高集積回路ということで2つに分けて書いてあります。

一番大事なところは、一番上に書いてあるバンドギャップ制御であると思います。グラフェンをご存じのようにゼロギャップの材料ですので、何らかの形でギャップを広げる必要がある。特にデバイスとして考えると、やはり0.5eV（エレクトロンボルト）ぐらいのバンドギャップが必要になってくるので、そういったところをどうやって作るのかが重要です。一つは幅を狭くしてナノリボンという形でバンドギャップを広げていくとかいう方法がありますが、このような技術開発をしていくことが必要になるということを書いてあります。

下のほうには、これらに付随する形でプロセス技術等をまとめてあります。

簡単ですけども、以上です。

○事務局（山崎） どうもありがとうございました。あと資料4の最後のページにフラーレンに関して、K P IをNBC Iさんのほうからご提供いただいています。今日はこれに関しては資料の配付というだけで説明は割愛させていただきたいと思います。

あと資料4の表にはフォーマットが異なるため載せられなかったのですが、齊藤様からカーボン系材料を構造材料、機能材料として実用化する際の考え方についてご説明いただけるということでしたので、参考資料1－⑤をご参照いただきたいと思います。

○齊藤委員 それでは、参考資料1－⑤をご説明したいと思います。

これまでいろいろな方の説明の中にもありましたけれども、カーボン系材料のような新素材を産業製品に適用していくために乗り越えるべき壁として、製造量とコストという大きな壁を乗り越える必要があるのではないかと。これは前回の席でも申しましたが、それを少し強引に、見えるような形で整理してみました。

左がまずわかりやすいということで、構造材料として一般に使われている材料を整理したものです。

例えば炭素鋼とか低合金鋼、ステンレス鋼といったところは——これは横軸が材料コスト、縦軸が部材の製造量ということで表に示しております。製造量はわかりやすいようにキログラムとトンということで示していますが、かなり強引に製造量なんか連続 casting しているものとか、あるいは右の機能材料では膜をどうしてこういうキログラム単位にできるのかというところがあると思うんですけれども、かなり感覚的なところもあって示しておりますので、一つのイメージ図という形でご説明したいと思います。

炭素鋼、ニッケル基合金などは製造量としては当然数十トンレベルでは製造できるもの、価格帯としても100円から数千円、高いもので1万円を超えるものがあるのではないかと、大体こういう位置に位置すると思われます。

一方で、例えばガスタービンに使っている動力の材料のような一方向凝固の合金とか、あるいは単結晶でつくる合金というのは赤丸で囲んだようなところで、製造量としては当然数十キロとか数百キロのものはできるんですけれども、やはり価格帯としては数万円から数十万円レベルになると思います。特に単結晶では数十万円を超えるところに位置すると思われます。

こういう構造系の材料の製造量の壁というのは、やはり少なくともキログラム以上はつくれないといけない。材料コストでは、やはり数万円か10万円以下ぐらいではできるものだということで、そういう面で言うと単結晶の材料はまだまだコストダウンみたいなところの取り組みも必要かなということで、今これは国プロでもそういう研究を実施しているところでございま

す。

一方で、右の機能材に移ってみますと、やはりその壁というのは随分特性というものを生かすということで、もっと位置が変わってくると思われます。ここで取り上げたのは超硬工具とか圧電素子とか熱電素子、あるいは燃料電池のセルとか触媒とか、そういったものをプロットしてみました。やはり既に使われているもので言うと、製造量としては少なくとも100グラム単位以上ではできないといけないとか、あるいはコストとしては数十万円レベル以下ぐらいの領域にあるのではないかなと思われます。

その中にカーボンファイバーというものをちょっとプロットしてみたんですけども、これは現在の位置は丸でC Fと書いたところぐらいの位置にあるのではないかなと思いますが、研究開発初期の段階は当然もっと製造量も少ないし、価格帯も高いところから、まずは製造技術のブレークスルーがあって、さらに価格のブレークスルーみたいなものがある今こういう領域に来ているのではないかなと想像しています。

これを左の構造材料のコストの壁、製造量の壁とプロットしてみると、もう既にそういう領域まで入ってきているのではないかな。それでC F R Pとして見てみると、それを使った材料としては十分構造材料として使える領域に来ているということで、こういった壁を乗り越えていくということが非常に重要なのかなというふうに考えています。

今回のカーボン系材料の、特に新材料のC N Tとかグラフェンとかいったものの位置づけ、これはちょっと認識が間違っているところもあるかもしれませんが、今一番右下に書いたところあたりに一番高性能のものというものはあるのかな。これを機能性の膜として使うために、あるいはもっと量産、製品の中に活用していくためには、まずは製造技術の壁を乗り越えるような製造技術の開発、そしてそれに伴って価格を下げっていく努力をしていくといったことが非常に重要ではないかなと思って書いてみました。これは本当にイメージ図なので、一つのたたき台として議論していただければいいのではないかなと思っています。

以上です。

○事務局（山崎） ありがとうございます。

短時間で非常にたくさんの情報をいただくことになってしまいまして、申し訳ありません。議論に関してご用意いただいた資料は以上になります。ありがとうございます。

○塚本主査 それでは、それぞれご準備いただきましてありがとうございます。

改めまして、今K P Iを中心に、最後には齊藤さんのほうから全体を俯瞰した物の見方、方向性を少しご提示いただきましたけれども、これまでのところでご質問、ご意見がござい

たらよろしくお願いします。

個別の技術論は腐るほど質問あるんでしょうけれども、ここで別に学会で技術論しているわけではありませんので、どういう視点で議論するかということで少し振り返っていただきたいんですが、きょう事務局で準備いただきました別冊、参考配付を机上に置いていますが、表紙をめくっていただきますと、こっちも出してもらえるとありがたいんですが、カーボン系の代表的な4つの材料のフラーレンからナノチューブ、グラフェン、長繊維、こういうものが今どういう状況か。一番この絵の右側に書いてあるのが、ポテンシャルマップに既につくり上げた中で示した22年、10年後にどういうことができそうかどうかというのを示しているものです。

もともと今回こういう議論を始めたのは、何度も出して恐縮ですが、奥村先生から例えばチタンが鉄みたいな値段でつくれたら、あるいは鉄並みの靱性、延性があたらどうか、そういうことになるかと全く違う世界もあるのではないかとということで、例えば一つの例としてカーボン系の材料で圧倒的にコストが安くなったらどうなるのか、その中で一つは原子シート的な議論も出てきたんですが、そういうことが出現してくると、一体22年に描いたもの以外にももっとこんなこともできるんじゃないのというようなことがあるのかなのか、あるいはそれに向けてK P I、超えるべき技術課題はいつごろまでにどうすべきかというあたりが整理できればいいのかと思っているんですが、そんなあたりでもっとこういう見方をすべきではないとか、あるいはこんな整理をしたらどうかとかいうご意見、ご質問がございましたらよろしくお願いします。

○奥村議員 この資料を例にお話ししたいと思いますが、一つはK P Iという指標でそれぞれの分野でこれから超えるべき技術課題等目標を設定して進めるという本来的な材料開発の方向性が出てきているわけですが、そのK P Iは例えば具体的な適用先、今の4期計画で言いますと3つの戦略協議会があるわけですね。その中の、例えば今ここで見ますとC F材料、航空機、飛行機、自動車、風力発電用ブレード、建材、人工骨等と書いていますが、逆にこちらから見たときにK P Iがブレイクスルーすることでニーズ側の課題解決にどれだけ貢献するのかということを一度見ないといけないと思います。どちらかと言うと縦軸にK P Iで、横軸に今度はニーズ側からのリクワイアメントといいますか、それがうまく合致していると、これはやろうかという元気が出るわけですが、また違う指標が出てくると、仮にK P Iを超えてもその分野にはなかなか浸透しにくいということを逆に意味しますので、ぜひともここにもリエゾンの方もいらっしゃるの、特定の用途が挙がっていますけれども、こういったものの事例を参考にしてグリーンなり、ライフなり、復興なりの戦略協議会で議論されていること

比較されたいかがなのか、あるいは事務局、主査等で最初に議論されるのも一つのやり方かも知れません。そこにはちょっとした工夫が要るかもしれませんが。

というのが一つの提案です。

○塚本主査 ありがとうございます。今、今後の進め方の方針なり考え方という部分だろうと思います。恐らくこの議論を進める中で、出口をどう設定するか。当然ながら3つの協議会、課題を解決するためにやろうということがもともとの趣旨ですから、そのために協議会に参加いただいている方も兼務の形でこちらのワーキンググループに入っていると思いますので。

今奥村先生からご指摘あったように、単純に今K P I が並び始めているんですが、並べていく中でこれが本当にブレークスルーすれば、だけでも一つこういうことも考えないとだめですよねとか、恐らく初期の議論で随分あったんですが、マテリアル側のサイエンス、あるいは技術、テクノロジーを議論しているとどうしてもシステムとか、単純にある物質があったって物につくれないわけです、あるいは世の中の課題を解決できないわけですから、もう少し本当の意味のソリューションにするためにはシステム的な議論も我々側から少し入れていかないと、恐らく単純にカーボンナノチューブが明日100円になったら使ってくれるのか、必ずしもそうではないと思います。それをどうやって使うか。

最もいい例が東レさんの長繊維のカーボン繊維なんかも、やはりそれは設計技術だとか、実際に安全性だとか、そういうことが長年かかってきちっと整理されて、それからボーイングさんがいろいろな実験をされて、それはやはり安全性を担保する中で進んできたのだらうと思いますから、単純にカーボン繊維がギガパスカルまでいったから使えるということではないんだらうと思います。

そういう意味ではぜひ今後、単純にK P I と、その先にある実際に産業に生かせる、あるいは3つの課題、イノベーションのジャンルでどうやっていくのか、あるいはそのためにどういうシステムが必要なのか、こんなあたりは逆に我々側からどんどん議論していかなければいかんのかなと思っております。今後ともよろしくお願いします。

まずは、それは少し今後の宿題とさせていただきたいと思います。

ほかに何かご意見ございますか。

○成戸委員 正解がないのですが例示で申し上げますと、前にもこの場で申し上げたんですが、例えば炭素繊維というのは東レも少し頑張ったり、日本の各社が頑張って強いものをつくった。軽くて強いのが目的のものについては、かなり使われてきました。

ところが、私はライフイノベーションの戦略協議会に行っていますが、ナノテクノロジーの

ような技術から一步離れて例えば資料にあります人工骨もそうだとおもうのですが、医療機器や材料、すなわち人に接触するところで使うとすると、すこし違った「キー・パフォーマンス・インディケーターK P I」というのが要ることになります。先ほど奥村先生がおっしゃったような形ですが、医薬・医療でよく言うのは、「T P P、Target Product Profile」というのですけれども、製品の目標とそのプロファイルですね、それとカップルしたようなK P Iというものをつくらないといけなくなります。医療では、炭素繊維を人の体の中で使おうとすると安全性、人との親和性というのが問題になる。それは従来の日本の炭素繊維ではほとんど考えていなかったことなんです。

もう一つは、塚本さんがおっしゃったシステムとして申し上げますと、例えば人体に使うためには医療とカップルしたメディカルエンジニアリングというものが要ることになります。菊池さんも別のところでおっしゃっていますが、そういう学問領域（学部、学科含めて）が日本ではまだ充分普及していないことが問題かと感じています。そういうところも含めて材料面からのキー・パフォーマンス・インディケーターというのを少しきちんと議論する必要があるのではないかと考えます。単純に強いものをつくりましょうとか、導電率がこうだとかという議論を超えて、プラスアルファを少し議論していただきたいなと思います。

○塚本主査 ご意見ありがとうございます。おっしゃるとおりだと思います。K P Iというのは単純に一つのパラメータというんですか、価格だとか強度、あるいは導電性とか物理ファクターだけではなくて、用途によっては違う視点で、当然ながら細胞との親和性だとか人工骨だとか何とかとなると当然そういう話になってきますので、もう少し複合的に出口を描きながら考えれば、もう一つプラスアルファのK P I。今おっしゃったのはTarget Product Profileですか、T P Pとおっしゃるようなそういう概念もプラスアルファ要るんだろうな。これは継続的にぜひ審議させていただきたいと思います。

ほかにご意見ございますか。

時間が迫っておりますので、来年に向けて少し私のほうからもある意味提案をさせていただきたいんですが、もともとポテンシャルマップができて、あと上位概念にある3つの協議会、2つのイノベーションと震災からの復旧・再生、それに課題解決のためにどういう技術が必要かという議論をしてきたんですが、なかなかその溝を埋めるためには、今既に話がありましたようにK P I的な議論とプラスアルファ、実際のソリューションを提供するためにはシステムだとか、あるいはもう一つプラスアルファのK P I的な要素が要る。これはぜひ継続審議したい。

実はこのワーキンググループの2つの役目があるんですが、でき上がったポテンシャルマップの国際ベンチマーキングが必要です。当然ながら競争しながらやっているわけですから、出遅れてやっていたのでは何の意味もありません。これは場合によってはK P Iの達成期限ということになるのかと思います。

それから、ベンチマーキングとともにロードマップというのが必要だということで、2つあと考えなければいけません。ロードマップも実はK P Iというのは確かにグラフエンが例えば100円だとか、強度がこうだとか、導電性がこうだといいますが、一朝一夕にできないわけで、東レさんの例を見ても40年かかってここまでこられているわけですから、それを産業的にはどういうロードマップで設計するのか。当然ながら企業が、あるいは産業としてやっていくためには収益が途中でないと、40年間垂れ流しでやるわけにはなかなかいきません。いわゆる社会貢献とは言ってもやはり企業体というのは収益が要りますので、ロードマップという意味では途中でどういう産業を描きながらやるのか、そういうことも大変重要だろうと思います。20年かかる仕事をひたすらやるだけでやるというのは、これはもう国費を入れるしかないんですが、事業体としてはご参加いただいている日立さん、三菱さん含めて、どうやって途中、稼ぎながら、横道というわけではないんですが、うまくロードマップをつくっていくかということも非常に大事だろうと思いますので、そういう意味では産業の方の委員も多く参加いただいていますので、これから来年にかけてロードマップを作成する段には単純な技術論ではなくて、産業としてどう道筋をつけていくのか、ぜひその辺もいろいろご意見いただければと思っています。

とりあえずきょうの段階では、主査としての取りまとめはそれぐらいにさせていただきたいと思います。

次回に向けて事務局から少しご連絡、ご案内をお願いします。

○事務局（守屋） きょうは資料のボリュームも多かったようでございます。余り皆様からのいろいろな自由なご意見、ご議論をいただく時間が十分ではなかったように感じました。

今回の議題、テーマにつきましては、塚本主査と相談させていただきながら、もう少しカーボン関連で続けさせていただくのかどうかということも含めまして、後ほどまたご連絡をさせていただきたいと思います。

ちょっとこれから二、三分使いまして、別に用意した資料がございますので、そちらのご説明をさせていただきます。

お手元の資料で、参考資料3というのがございます。

本ワーキンググループ、第1回開始以来、科学技術関連の予算の中でナノテク材料に使われているものがどういう推移を示しているのかということはこのワーキンググループとしてもウオッチしていく必要があるだろうということで、2回ほど前に平成23年度の数字をご紹介いたしました。その後、平成24年度の数字がまとまりましたので、きょうこの資料をお手元にお配りしております。

予算の分野別の区分につきましては、第3期の科学技術基本計画に沿う分け方をそのまま使ってナノテク材料関連の予算を取りまとめております。こちらにあります科学技術予算、3.7兆円ほどの中で883億円というのが平成24年度のナノテク材料関係の予算ということになります。

裏の円グラフ、それから棒グラフのほうを見ていただきますと、それぞれ主要8分野の内訳が出ております。この5.4%というのは、分母が重点8分野の合計となっております、全体の3兆6,000億円ではなくて、8分野合計の1兆6,400億円ほどが分母でございまして、その中の883億円、5.4%ということでございます。

ちなみに平成23年度は814億円で、このときの8分野の中の比率は5.0%ということになっております。

若干比率は高まったというように見えてございます。

以上、ご参考までにお伝えいたしました。

それから、もう一つ、参考資料4でございます。

これは前回のこちらの会議の中で12月11日にライフイノベーション、それからグリーンイノベーションの各協議会に対して、5分程度の時間でナノテク材料関連ワーキンググループの検討状況をご説明すると申し上げましたが、そのそれぞれの会合の場で、各協議会のメンバーの方にお配りした資料でございます。

一応今後の進め方といたしましては、1～3月あたりに書かれていますようにワーキンググループとしての活動は9回、10回、11回と今のところ一月に1回ぐらいのペースで引き続き予定してございますが、その間、2月以降を目安に各戦略協議会、当面、ライフとグリーンの2つのメンバーの方と意見交換等ができる場を構成しようということで現在協議中でございます。

最終的には、年度の締めでもありますし、平成26年度のいろいろな施策の議論を各協議会が行う4月以降に向けて、3月末ぐらいを目安に、先ほど主査の塚本様からありましたようなロードマップですとか課題解決への主要技術に関するシナリオ、どこまで書けるかというのは今後の検討次第でございますが、そういったものを成果物としてまとめていければいいなという

ふうを考えているところでございます。

なお、ちょっと時間をいただきまして、12月11日にそれぞれの協議会でいただきましたコメントを簡単に紹介させていただきます。

それぞれ協議会にご出席いただいた委員の方も本日いらしていますので、もし追加のコメントがあれば簡単にお願いします。ライフ協議会におきましては、委員のお1人から、使う側、医療側のほうには余りこういう材料ですとかナノテクノロジーに関して研究している研究者が多くないということです。したがって、こういう材料あるいはナノテクノロジーの検討に当たっては、使う側からのいろいろな改善案の提示がされることが大事だと考えているというお話が一つ。

それから、このワーキンググループのメンバーでもございます菊地委員のほうからは、先ほど成戸委員からご紹介もありましたが、細胞と実際に体内に入れるナノ材料とのインタラクションのような基礎的なところをきっちり研究して把握することが必要であろうというお話です。

成戸様のほうからもコメントがございました。先ほどちょっと触れていただきましたようにメディカルエンジニアリング、バイオエンジニアリング等の分野を国としてももう少し強化すべきではないかというお話と、それから医療機器という分野において、グローバルに本来であればもう少し強みを日本は発揮すべきであり、そのための取り組みをワーキンググループからは材料、手段のアプローチからの提案、それから協議会では政策的な取り組みをどうすればいいかという角度から議論をしたいというご意見をいただきました。

グリーン協議会に関しましては、幾つかコメントをいただいておりますが、まず私どもがアウトプットとして作成しましたポテンシャルマップにつきましては、まずまとめ方について、グリーン、ライフそれぞれの活用先というのがある程度分類されていて、協議会の議論の参考にできるアウトプットではないかというようなご意見をいただきました。

それから、塚本主査からもお話があったことに関係いたしますが、協議会での議論のアウトプットというのがいろいろな政策課題であったり、あるいは重点的取り組みであったりというものですが、そこでの議論とこういう私たちのナノテク材料、あるいはICTといった共通基盤に関する要素技術の開発技術との間の距離が随分遠いという印象があるというご意見です。実際にはこういう技術的な課題というのがある程度構造化されて、それぞれの重点的取り組みにどう関係づけられるのか。そのためには中間段階ですとか、あるいは具体的な技術目標というようなもの、言葉を換えて言うとシステムとしてどういうものを描くのかということが議論として必要であろうというご指摘がございました。

私のほうからのご紹介は以上でございます。もし追加のコメントがあればお願いします。

○塚本主査 今、少しエッセンスとして守屋さんからご紹介がありましたが、それぞれの協議会にご出席されて、いや、こういうポイントがもっと大事な話があったんじゃないかというのがありましたら、コメントをよろしくをお願いします。

よろしいですか。恐らく共通項だろうと思うんです。まだまだ溝があって、テクノロジーの話と、課題なりソリューションの話とまだ相当埋めるべき、システムの問題であるとか、先ほどおっしゃったK P Iというのも単純に見るのではなくて、多面的なK P Iがありますから、相当まだ双方に努力が要るんだろうということには違いないと思います。

○武田委員 このK P Iみたいな議論というのは、今までなかったと思うので、これが応用と技術をきちっとつなぐ共通の言葉になっていくと非常にいい議論になるのではないかなと思います。

○塚本主査 わかりやすいですね。ありがとうございます。

ほかによろしいですか。

○事務局（大石） 協議会とワーキングの役割に関連するんですけれども、戦略協議会で議論しているのは政策課題、重点的取り組みまでのところが主体でして、そこではなかなか具体的な技術論のところまでは入ってこないんですね。やはり政策課題、重点的取り組みを実際に進める具体的な施策、そのレベルにならないとなかなかきょうのK P Iだとか、どういうシーズがニーズとマッチングするかというところがかみ合った議論に多分ならないのではないかなと考えます。

したがって、今年度は協議会は重点的取り組みのレベルまでの議論をしていたんですが、来年度以降、やはりワーキングと協議会の双方がもう少し重点的取組みを具体的に実行する施策レベルとか技術レベルの議論をしていかないと、なかなかニーズ、シーズマッチングができないのかなというふうに思っていて、そのあたりもいろいろ改善といいますか、来年度以降反映していきたいなと思っています。

○塚本主査 ありがとうございます。ほかにご意見があるかもしれませんが、もう時間が実は超過しておりまして、来年、次回に向けて事務局から何かご連絡がありますか。

○事務局（守屋） それでは、日程だけ確認させてください。

第9回は2月1日金曜日の午前10時から12時、2時間ほどを予定しておりますので、よろしくをお願いします。

以上でございます。

○塚本主査 それでは、次回２月１日、改めてよろしくお願いします。

本日は少し超過しました。大変申しわけありません。これで閉会させていただきます。

よいお年をお迎えください。

午後３時０７分 閉会